Journal of Water and Soil
Homepage: https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 5, Dec.-Jan., 2023, p. 673-683

Evaluation of Elasticity-Based Methods in Estimating Contribution of Climate Change and Human Activities on Rivers' Discharge (Case Study: Gharehsoo River)

H. Norouzzadeh[1]- M. Hasanpour Kashani[2*]- A. Rasoulzadeh[3]
1, 2 and 3- Master's Degree, Assistant Professor and Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author: m.hkashani@uma.ac.ir)

Received: 03-07-2023 Revised: 15-10-2023 Accepted: 16-10-2023 Available Online: 21-10-2023	**How to cite this article:** Norouzzadeh, H., Hasanpour Kashani, M., & Rasoulzadeh, A. (2023). Evaluation of Elasticity-Based Methods in Estimating Contribution of Climate Change and Human Activities on Rivers' Discharge (Case Study: Gharehsoo River). *Journal of Water and Soil, 37*(5), 673-683. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.83229.1305

Introduction

Climatic changes and human activities are among the important factors that affect the flow of rivers and it is very important to determine the contribution of these factors in order to better manage water resources. In recent years, there have been major changes in the watersheds, and the amount of runoff and river flow has decreased, or in some cases, the flow has increased due to the occurrence of floods. The issue of reducing the amount of runoff, especially in the arid and semi-arid regions of Iran, is one of the basic challenges related to the management of water resources. Hydrological changes primarily result from a combination of natural or climatic factors, including precipitation levels, air temperature, and overall warming of the Earth. Additionally, human activities, such as the construction of dams, creation of reservoirs, urbanization expansion, and indiscriminate harvesting, play a significant role. It is important to note that these factors are interconnected, and alterations in one can impact the others. The increase of greenhouse gases and climate change has caused a change in the hydrological cycle and the amount of runoff in the watersheds and has increased the number of climatic extreme events. The main purpose of this study is to determine the contribution of each of these factors on the discharge changes of the Gharehsoo River, one of the most important rivers of Ardabil province, using elasticity-based methods (non-parametric and Bodiko-based methods).

Materials and Methods

In this research, firstly, in order to determine the point of change in the amount of river runoff and to divide the base and change period, Petit's test was used during the statistical period of 1984-2019. This test was done using Xlstat software. According to the results of this test, there was a change in the annual flow time series in 1997, which was considered as the base period from 1984 to 1997 and from 1998 to 2019 as the period of changes. Then, the contribution of each of these factors was determined using elasticity-based methods.

Results and Discussion

In the elasticity-oriented method, the non-parametric method and the methods based on Bodiko's assumptions were used to calculate the elasticity coefficient.The results showed that in Samyan station, in the non-parametric method, the contribution of human activities is 88.26% and the contribution of climate change is 11.74%. The

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.83229.1305

contribution of human activities and the contribution of climate change for the methods of Schreiber, Aldekap, Bodiko, Peek and Zhang, respectively 91.98 and 8.02, 90.02 and 9.97, 91.98 and 8.02, 90.80 and 9.20, 92.37 and 7.62 are estimated. In general, in the elasticity method, the contribution of human activities is 88.26 to 92.37 percent and the contribution of climate change is from 7.63 to 11.74 percent, depending on the non-parametric and Bodiko method. At the Dost-Beiglo station, employing the non-parametric method reveals that human activities account for 96.13% of the observed changes, while the remaining 3.87% is attributed to climate change. The contribution of human activities and the contribution of climate change for the methods of Schreiber, Eldekap, Bodiko, Pick and Zhang are 97.71 and 2.29, 97.42 and 2.58, 97.56 and 2.44, 97.48 and 2.52, 97.71 and 2.29 are estimated. In general, in the elasticity-oriented method, the contribution of human activities between 96.13 and 97.71 percent and the contribution of climate change from 2.29 to 3.87 percent, depending on the non-parametric and Boudico-oriented method, have been met.

Conclusion

In this research, different hydrometeorological data such as precipitation, evaporation and transpiration and monthly discharge from the Samyan and Dost Beiglo stations were used for the statistical period of 1982-2019. First, by using Pettitt's test, it was determined that the river flow rate has changed abruptly since 2016. Therefore, the entire statistical period was divided into two natural and change periods, and then, using elasticity-based methods, the contribution of human activities and the contribution of climate change were determined. According to the results obtained in both stations, the impact of human activities (more than 88%) on the basin's runoff is far more than climate change (less than 11%). Therefore, it seems necessary to prevent the effective human activities on reducing the river flow in solving and managing water problems in the basin.

Keywords: Climatic changes, Elasticity-based method, Human activities, Pettitt's test, Runoff flow

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۲، ص. ۶۸۳-۶۷۳

ارزیابی کارآیی روش‌های الاستیسیته محور در برآورد سهم تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در میزان دبی رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه قره‌سو)

هاجر نوروززاده[۱] - مهسا حسنپورکاشانی[۲*] - علی رسول‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۴

چکیده

تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی از جمله عوامل مهمی هستند که بر جریان رودخانه تاثیر می‌گذارند. هدف این مطالعه، تعیین سهم هر کدام از عوامل تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر تغییرات دبی رودخانه قره‌سو یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان اردبیل در دو ایستگاه سامیان و دوست بیگلو با استفاده از روش‌های الاستیسیته محور (بودیکو محور و روش ناپارامتری) می‌باشد. در این تحقیق، ابتدا به‌منظور تعیین نقطه تغییر مقدار رواناب رودخانه و تقسیم‌بندی دوره پایه و تغییر از آزمون پتیت در طول دوره آماری ۱۳۶۱– ۱۳۹۸ استفاده شد. این آزمون در نرم‌افزار Xlstat انجام شد. با توجه به نتایج این آزمون در سال ۱۳۷۶ یک تغییر در سری زمانی جریان سالانه رخ داد که از سال ۱۳۶۱ تا ۱۳۷۶ به‌عنوان دوره پایه و از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۸ به‌عنوان دوره تغییرات در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از روش‌های الاستیسیته محور سهم هر کدام از این عوامل تعیین گردید. نتایج نشان داد که در ایستگاه هیدرومتری سامیان سهم تغییرات اقلیمی برابر ۱۱/۷۴–۷/۶۳ درصد و سهم فعالیت‌های انسانی برابر ۹۲/۳۷–۸۸/۲۶ درصد می‌باشد. در ایستگاه هیدرومتری دوست‌بیگلو نیز سهم تغییرات اقلیمی برابر ۳/۸۷–۲/۲۹ درصد و سهم فعالیت‌های انسانی برابر ۹۷/۷۱–۹۶/۱۳ درصد می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل در هر دو ایستگاه، تأثیر فعالیت‌های انسانی (بیشتر از ۸۸ درصد) بر روی رواناب حوضه به مراتب بیشتر از تغییرات اقلیمی (کمتر از ۱۱ درصد) می‌باشد. بنابراین، جلوگیری از انجام فعالیت‌های انسانی مؤثر در کاهش دبی رودخانه، در حل و مدیریت مشکلات آبی حوضه ضروری بنظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: آزمون پتیت، تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی، روش الاستیسیته محور، رواناب

مقدمه

در سال‌های اخیر تغییرات عمده‌ای در حوضه‌های آبریز صورت گرفته و میزان رواناب و جریان رودخانه‌ها دچارکاهش شده و یا در برخی موارد به صورت وقوع سیلاب‌ها جریان افزایش یافته است (Hood, 2011). موضوع کاهش میزان رواناب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران یکی از چالش‌های اساسی در رابطه با مدیریت منابع آب می‌باشد و تغییرات هیدرولوژیکی به وجود آمده عمدتا ناشی از عوامل طبیعی (اقلیمی) و انسانی بوده است (Yao *et al.*, 2015). این عوامل مستقل از هم نیستند و هرگونه تغییر در آن‌ها بر یکدیگر نیز اثرگذار است. افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی موجب تغییر در چرخه هیدرولوژیک و مقدار رواناب در حوضه‌های آبریز شده و تعداد رویدادهای حدی اقلیمی را افزایش داده است (Sorokin & Mondello, 2017). اما مشاهدات در بیشتر مناطق در سراسر جهان نشان می‌دهد چرخه هیدرولوژیک علاوه بر تغییر اقلیم، تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی نیز قرار گرفته است (Huntingto, 2006). فعالیت‌های انسانی نظیر توسعه کشاورزی، توسعه شهرسازی، سدسازی و بهره‌برداری از مخازن، اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر چرخه هیدرولوژیک داشته و در نتیجه آن توزیع زمانی– مکانی منابع آب دچار

۱، ۲ و ۳– به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استادیار و استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
(*– نویسنده مسئول: Email: m.hkashani@uma.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.83229.1305

تغییر شده است (Milly *et al.*, 2005). بنابراین، برای شناخت بهتر ارتباط بین اقلیم، هیدرولوژی و انسان‌ها، لازم است فعالیت‌های انسانی مؤثر بر رواناب نیز مورد بررسی قرار گیرد (Rangecroft *et al.*, 2016).

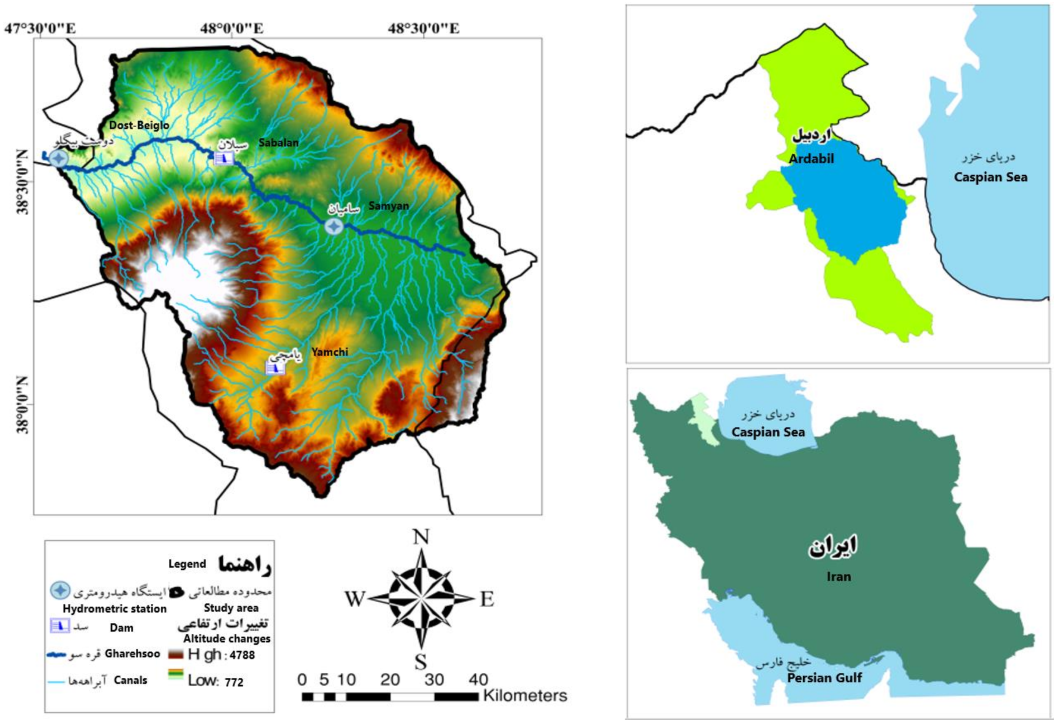
مطالعات متعددی در رابطه با تغییرات جریان رودخانه‌ها توسط محققین صورت گرفته است. ما و همکاران (Ma *et al.*, 2008) اثرات تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی را برای حوزه رودخانه‌ای در منطقه خشک در شمال غربی چین تحلیل و ارزیابی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که تغییرات آب و هوایی (کاهش بارندگی) باعث کاهش بیش از ۶۴ درصدی میانگین یک ساله جریان است و همچنین جریان این رودخانه به تغییرات بارش نسبت به تغییرات تبخیر و تعرق بسیار حساس است. ژائو و همکاران (Zhao *et al.*, 2014) اثرات تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی را بر روی جریان حوضه رودخانه Yellow در چین ارزیابی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که به‌طور کلی فعالیت‌های انسانی نظیر پروژه‌های حفاظت از آب و خاک، بهره‌برداری از سدها و مخازن مصرف آب به عنوان عوامل حاکم بر کاهش چشمگیر جریان سالانه در ۶ دهه گذشته شناخته می‌شود. گائو و همکاران (Gao *et al.*, 2016) با استفاده از روش الاستیسیته پاسخ هیدرولوژیکی حوضه‌های مختلف Loess Plateau را به تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۹ تعیین کردند. نتایج آنها نشان داد در ۱۰ حوضه از ۱۵ حوضه مورد بررسی، سهم فعالیت‌های انسانی بیش از ۶۰ درصد می‌باشد. وو و همکاران (Wu *et al.*, 2017) با بررسی اثرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی با استفاده از روش‌های مدل هیدرولوژیکی SWAT، رگرسیون خطی، منحنی جرم مضاعف، الاستیسیته محور و روش بودیکو بر روی رودخانه Yanhe در چین اعلام کردند که تغییر اقلیم به طور متوسط موجب کاهش ۵۴/۱ درصدی رواناب در حوضه مورد مطالعه شده است. زهرایی و همکاران (Zahraie *et al.*, 2017) سهم اثرات تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی را در کاهش رواناب‌های ورودی به سد زاینده رود با استفاده از سه روش کشسانی، رگرسیون خطی و تثبیت-تغییر ارزیابی کردند. نتایج تحقیق نشان‌دهنده سازگاری نتایج این روش‌ها با اطلاعات مربوط به توسعه کشاورزی به‌عنوان مهمترین مصرف‌کننده آب در منطقه بود. عباسی و ملکانی (Abbasi & Malekani, 2021) برای بررسی و برآورد میزان تغییرات رواناب در اثر عوامل اقلیمی و انسانی در حوضه سجاسرود واقع در استان زنجان از روش رگرسیون خطی و جهت شبیه‌سازی فرآیند هیدرولوژیکی از ابزار آب و خاک (SWAT) استفاده کردند که نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که سهم عوامل اقلیمی و عوامل انسانی در کاهش رواناب به‌ترتیب ۳۳٪ و ۶۷٪ می‌باشد. کاکایی و همکاران (Kakaei *et al.*, 2019) اثرات خشکسالی ناشی از فعالیت‌های انسانی را بر منابع آب سطحی و رواناب در دو حوضه اسکندری در استان اصفهان و کیاکلا در استان مازندران مورد بررسی قرار دادند. ایشان اعلام کردند اثرات خشکسالی ناشی از فعالیت‌های انسانی در هر دو حوضه بیشتر از تغییرات اقلیمی بوده است.

با توجه به مطالعات گسترده صورت گرفته در نقاط مختلف جهان در خصوص تعیین عوامل مؤثر در تغییر دبی رودخانه‌ها، در این تحقیق نیز به بررسی اثر عوامل یاد شده در میزان تغییرات رودخانه قره‌سو بعنوان یکی از مهمترین رودخانه‌های استان اردبیل پرداخته می‌شود. شایان ذکر است که استان اردبیل و حوضه آبریز رودخانه قره‌سو همانند بسیاری از نقاط دیگر جهان دچار تغییرات اقلیمی شده و نیز فعالیت‌های انسانی زیادی نظیر سدسازی، گسترش مناطق شهری و کشاورزی و ... در سطح استان و حوضه در طول سالیان انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه قره‌سو در مختصات جغرافیایی ′۳۲ °۴۷ تا ′۴۱ °۴۸ طول شرقی و ′۴۷ °۳۷ تا ′۵۲ °۳۸ عرض شمالی و با مساحتی بالغ بر ۴۰۶۲ کیلومتر مربع در استان اردبیل واقع شده است. این رودخانه از ارتفاعات تالش سرچشمه گرفته و در مسیر خود ضمن عبور از دشت اردبیل، آب‌های جاری این منطقه از جمله بالیخلی چای را جمع‌آوری کرده و همراه با دره رود به رود مرزی ارس می‌ریزد. طول آبراهه اصلی ۲۸۵ کیلومتر و با آبدهی سالانه ۵۵۴ میلیون متر مکعب، پرآب‌ترین رودخانه داخلی استان اردبیل بشمار می‌رود. در این مطالعه، داده‌های بارش، دبی و تبخیر در مقیاس ماهانه مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری سامیان و ایستگاه دوستبیگلو طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۸ از شرکت آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی استان اردبیل اخذ و استفاده شدند. در شکل ۱ موقعیت رودخانه قره سو و در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده ارائه شده است. با توجه به شکل ۱ ملاحظه می‌شود که بر روی رودخانه قره‌سو، دو سد سبلان و یامچی قبل از ایستگاه دوستبیگلو و سامیان به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۳ احداث و به بهره‌برداری رسیدند. شکل ۲ نقشه کاربری اراضی استان اردبیل را در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۵ نشان می‌دهد که حاکی از افزایش اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و پهنه‌های آبی و کاهش جنگل‌ها و مراتع در طول این سال‌ها و به‌عبارتی دیگر، انجام فعالیت‌های انسانی متنوع در سطح استان می‌باشد (Kakehmami *et al.*, 2021). بنابراین، انتظار می‌رود فعالیت‌های انسانی تأثیر قابل توجهی بر میزان دبی رودخانه قره‌سو داشته باشند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش

Figure 1- Geographical location of the study area

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

Table 1- Geographical coordinates of studied hydrometric stations

محدوده مطالعاتی Study area	نام رودخانه Name of river	نام ایستگاه Station Name	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	مساحت حوضه Basin Area
اردبیل Ardabil	قرەسو Gharehsoo	سامیان Samyan	48°14´ 48 ″	38°22´ 49 ″	4200 m^2
مشگین شهر Meshgin Shahr	قرەسو Gharehsoo	دوست بیگلو Dost-Beiglo	47°32´ 02 ″	38°32´ 57 ″	7300 m^2

آزمون پتیت[۱]

در مواقعی که زمان دقیق تغییر در یک سری زمانی مشخص نباشد برای تعیین نقطه تغییر و تمایز بین دوره پایه و تغییر جریان رودخانه از روش ناپارامتری پتیت که در سال ۱۹۷۹ توسط پتیت ارائه شده است استفاده می‌شود (Pettitt, 1979). برای تعیین این نقطه تغییر ابتدا باید پارامتر K_t محاسبه شود (Mwangi, 2016).

$$K_t = max\left|U_{t,T}\right| \quad , \quad 1 \le t \le T \qquad (۱)$$

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^{t}\sum_{j=t+1}^{T} sgn(x_i - x_j) \qquad (۲)$$

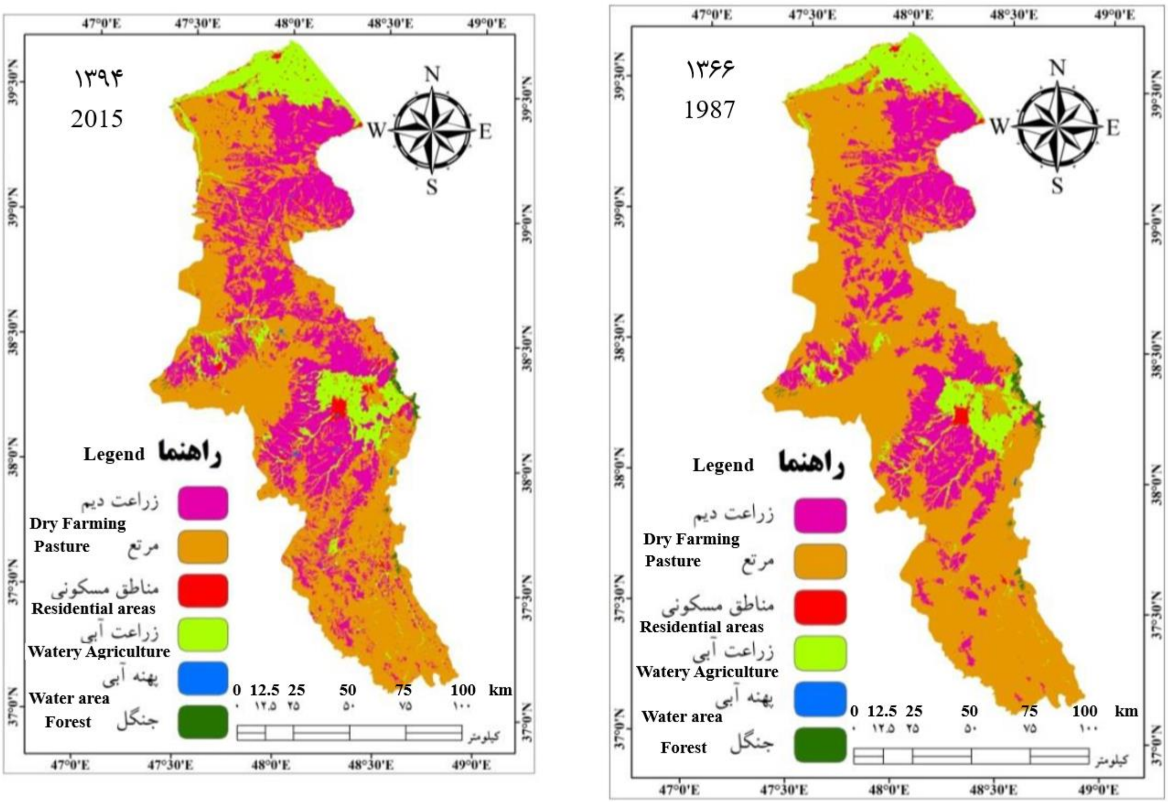
$$sgn(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & if(x_i - x_j) > 0 \\ 0 & if(x_i - x_j) = 0 \\ -1 & if(x_i - x_j) < 0 \end{cases} \qquad (۳)$$

$U_{t,T}$ معادل آماره من- ویتنی برای تست است، T تعداد کل مشاهدات، $sgn(x_i - x_j)$ تابع علامت بوده و x مقدار سری مشاهداتی می‌باشد. نقطه تغییر در سری K_t قرار دارد و احتمال معنی‌داری K_t در سطح ۵ درصد به صورت زیر برآورد می‌گردد.

$$P \cong 2exp(\frac{-6k_T^2}{T^3+T^2}) \qquad (۴)$$

جایی که مقدار P کمتر از ۰/۰۵ (سطح معنی‌داری) باشد آن نقطه به‌عنوان نقطه تغییر خواهد بود.

1- Pettitt



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی استان اردبیل در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۴ (Kakehmami *et al.*, 2021)

Figure 2- Land use map of Ardabil province in 1987 and 2015 (Kakehmami *et al.*, 2021)

بررســـی تـأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انســـانی بر رواناب

برای بررســـی تغییرات رواناب می‌توان طول دوره آماری را به دو دوره پایه و دوره تغییرات تقســیم‌بندی نمود. به‌عبارت دیگر، $\Delta\bar{Q}_{total}$ را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\Delta\bar{Q}_{total} = \bar{Q}_{variation} - \bar{Q}_{baseline} \quad (۵)$$

کـه در آن، $\Delta\bar{Q}_{total}$ تغییرات کـل میـانگین ســـالانـه رواناب و $\bar{Q}_{baseline}$ و $\bar{Q}_{variation}$ به‌ترتیب میانگین ســـالانه رواناب در دوره پایه و در دوره تغییرات می‌باشــند. همانگونه که در بالا نیز اشــاره شده می‌توان تغییرات در میزان رواناب را به صورت ترکیبی از تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسـانی و درصد تغییرات هر یک را با روابط زیر نشان داد (Wu *et al.*, 2017):

$$\Delta\bar{Q}_{total} = \Delta\bar{Q}_{climate} + \Delta\bar{Q}_{human} \quad (۶)$$

$$\mu_{climate} = \frac{\Delta\bar{Q}_{climate}}{\Delta\bar{Q}_{total}} \times 100 \quad (۷)$$

$$\mu_{human} = \frac{\Delta\bar{Q}_{human}}{\Delta\bar{Q}_{total}} \times 100 \quad (۸)$$

کـه در آن، $\Delta\bar{Q}_{climate}$ و $\Delta\bar{Q}_{human}$ بـه‌ترتیـب تغییرات در میانگین دبی ســـالانه به علت اثر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انســـانی می‌باشــند. $\mu_{climate}$ و μ_{human} نیز به‌ترتیب درصــد ســهم عوامل اقلیمی و انسانی بر روی تغییرات دبی در نظر گرفته شده‌اند.

روش‌های الاستیسیته محور

رواناب در یک حوضه را می‌توان به صورت تابعی از عوامل اقلیمی و مشخصات حوضه به شکل زیر بیان نمود:

$$Q = f(P.ET_p.V) \quad (۹)$$

که در آن، Q رواناب، P بارندگی، ET_p تبخیر- تعرق پتانســـیل و V نشـان‌دهنده تاثیرات یکپارچه مشخصات حوضه بر رواناب می‌باشد. بر اسـاس رابطه (۹) می‌توان تغییرات در رواناب را به صـورت تابعی از تغییرات در بارش، تبخیر- تعرق و مشـخصـات حوضـه به صورت زیر بیان کرد:

$$\Delta Q = f'_p\Delta P + f'_{ET_p}\Delta ET_p + f'_V\Delta V = \frac{\partial Q}{\partial P}\Delta P + \frac{\partial Q}{\partial ET_p}\Delta ET_p + \frac{\partial Q}{\partial V}\Delta V \quad (۱۰)$$

تغییر در میزان بارندگی و تبخیر- تعرق پتانســیل ناشـــی از اثرات تغییر اقلیم و تغییرات در مشخصات حوضه نشان‌دهنده اثر فعالیت‌های انسـانی در حوضه می‌باشد (Yao *et al.*, 2015). بنابراین، رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر تفکیک کرد:

$$\Delta\bar{Q}_{climate} = \frac{\partial Q}{\partial P}\Delta P + \frac{\partial Q}{\partial ET_p}\Delta ET_p \quad (۱۱)$$

برای تعیین سهم اثرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر رواناب ابتدا باید ضریب الاستیسیته رواناب (ε) برآورد شود (Schaake, 1990). ضریب الاستیسیته رواناب عبارتست از نسبت تغییرات رواناب به یک عامل اقلیمی مثل بارش و یا تبخیر- تعرق (X). به‌عبارت دیگر:

$$\varepsilon = \frac{\partial Q/Q}{\partial X/X} \quad (۱۲)$$

بنابراین رابطه (۱۱) را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد.

$$\Delta\bar{Q}_{climate} = \left(\frac{\varepsilon_P \Delta P}{P} + \frac{\varepsilon_{ET_p}\Delta ET_p}{ET_p}\right)Q \quad (۱۳)$$

که در آن، ε_P و ε_{ET_p} به‌ترتیب ضریب الاستیسیته رواناب نسبت به بارندگی و تبخیر- تعرق می‌باشد. بنابراین، برای محاسبه $\Delta\bar{Q}_{climate}$ ابتدا باید این دو ضریب محاسبه شوند که برای محاسبه آن از دو روش زیر استفاده می‌شود.

روش ناپارامتری

این روش یک تخمین ناپارامتری برای الاستیسیته اقلیمی می‌باشد که با استفاده از داده‌های مشاهداتی به دست می‌آید. ساختار کلی این روش به صورت زیر می‌باشد:

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q_i/\bar{Q}}{\Delta X_i/\bar{X}} = \frac{(Q_i-\bar{Q})/\bar{Q}}{(X_i-\bar{X})/\bar{X}} \quad (۱۴)$$

Q_i و X_i به ترتیب مقادیر رواناب سالانه و متغیر اقلیمی (بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل)، $\bar{Q}$ و $\bar{X}$ متوسط رواناب سالانه و متغیر اقلیمی می‌باشد که برای حل این معادله می‌توان از آماره میانه استفاده کرد.

$$\varepsilon = median\, \frac{\frac{Q_i-\bar{Q}}{\bar{Q}}}{\frac{X_i-\bar{X}}{\bar{X}}} \quad (۱۵)$$

روش‌های بودیکو محور

با توجه به رابطه بیلان آب می‌توان الاستیسیته اقلیمی برای رواناب را ارزیابی کرد. به‌طور کلی فرض بر این است که تغییرات بلند مدت در ذخیره آب حوضه ناچیز است و رواناب به عوامل اقلیمی عمدتاً به بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل بستگی دارد. معادله بیلان آب را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

Q=P-E (۱۶)

که P بارندگی بر حسب میلی‌متر، E تبخیر و تعرق واقعی و Q عمق رواناب بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

بودیکو (Budyko, 1948) میانگین سالانه تبخیر و تعرق پتانسیل به میانگین سالانه بارش را به عنوان شاخص خشکی و تبخیر و تعرق واقعی را تابعی از شاخص خشکی معرفی نمود. به عبارت دیگر:

$$\varphi = \frac{ET_p}{P} \quad (۱۷)$$

$$ET_a = P*F(\varphi) \quad (۱۸)$$

ET_p میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل دوره تغییرات، P میانگین بارش دوره تغییرات، ET_a میانگین تبخیر و تعرق واقعی دوره تغییرات و $F(\varphi)$ شاخص خشکی می‌باشد.

با توجه به جدول ۲ هر چقدر مقدار شاخص خشکی بیشتر باشد وضعیت اقلیمی منطقه خشک‌تر تلقی می‌شود.

ضریب الاستیسیته بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل را به‌صورت زیر می‌توان بیان کرد (Fu *et al.*, 2007).

$$\varepsilon_P = 1 + \frac{\varphi F'(\varphi)}{1-F(\varphi)} ،\quad \varepsilon_P + \varepsilon_{ET_P} = 1 \quad (۱۹)$$

$F'(\varphi)$ مشتق تابع $F(\varphi)$ می‌باشد. برای محاسبه $F(\varphi)$ از روابطی که بر اساس فرضیات بودیکو ارائه شده است (جدول ۳) استفاده گردید. پس از انجام محاسبات فوق، سهم تغییر رواناب ناشی از اقلیم محاسبه می‌شود. با توجه به جدول ۳ مقدار ضریب آب موجود در گیاه (ω) در رابطه ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2001) با توجه به پوشش زمین و کاربری اراضی حوضه برآورد می‌شود که برای جنگل مقدار ۲ و برای مرتع ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

در این تحقیق، به منظور تعیین نقطه تغییر مقدار رواناب رودخانه و تقسیم‌بندی دوره پایه و تغییر از آزمون پتیت در طول دوره آماری ۱۳۶۱- ۱۳۹۸ (۳۸ سال) استفاده شد. با توجه به نتایج این آزمون در شکل ۳ مشاهده می‌شود که در سال ۱۳۷۶ یک تغییر در سری زمانی جریان سالانه رودخانه رخ داده است و مقدار p هم در این نقطه کمتر از ۰/۰۵ است. بنابراین، از سال ۱۳۶۱ تا ۱۳۷۶ به‌عنوان دوره پایه و از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۸ به‌عنوان دوره تغییرات در نظر گرفته شد. این آزمون با استفاده از نرم‌افزار Xlstat انجام شد.

جدول ۲- تعیین وضعیت اقلیمی منطقه با استفاده از شاخص خشکی

Table 2- Determining the climatic condition of the region using the aridity index

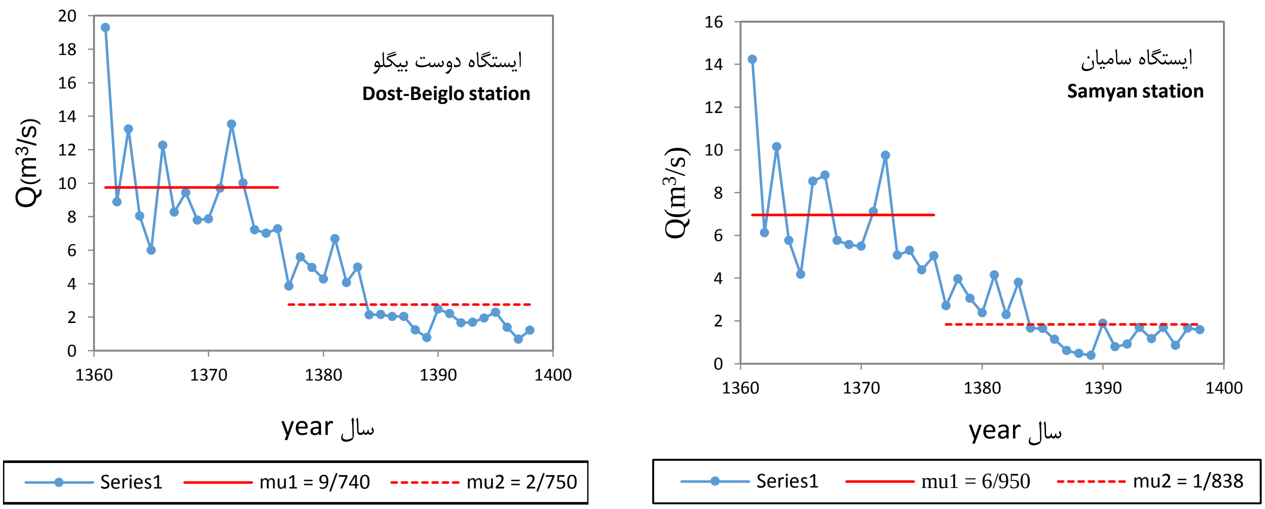
بازه شاخص خشکی Dryness index range	0.375-0.75	0.75-2	2-5	5
وضعیت اقلیمی منطقه Climatic condition of the region	خشک Arid	نیمه خشک Semi-arid	نیمه مرطوب Sub-humid	مرطوب Humid

جدول ۳- توابع مختلف بر اساس فرضیات بودیکو
Table 3- Various functions based on Budyko assumptions

نام توابع Function names	$F(\varphi)$	$F'(\varphi)$
Schreiber,1904	$1e^{-\varphi}$	$e^{-\varphi}$
Oldekop,1911	$\varphi \tanh(1/\varphi)$	$\tanh(1/\varphi) - 4/[\varphi(e^{-1/\varphi}+e^{1/\varphi})^2]$
Budyko,1948	$[\varphi \tanh(1/\varphi)(1-e^{-\varphi})]^{0.5}$	$0.5[\varphi \tanh(1/\varphi)(1-e^{-\varphi})]^{-0.5} \times \left[\left(\tanh(1/\varphi) - \frac{\operatorname{sech}^2(1/\varphi)}{\varphi}\right)(1-e^{-\varphi}) + \varphi \tanh(1/\varphi) e^{-\varphi}\right]$
Pike,1964	$(1+\varphi^{-2})^{-0.5}$	$1/[\varphi^3(1+(1/\varphi)^2)^{1.5}]$
Zhang *et al*,2001	$(1+\omega\varphi)/(1+\omega\varphi+1/\varphi)$	$(\omega+2\omega/\varphi-1+1/\varphi^2)/(1+\omega\varphi+1/\varphi)^2$

با توجه به شکل ۳، در ایستگاه سامیان، متوسط دبی رودخانه در دوره پایه برابر ۶/۹۵ متر مکعب در ثانیه و متوسط دبی رودخانه در دوره تغییرات برابر ۱/۸۳ متر مکعب در ثانیه می‌باشد. در ایستگاه دوست‌بیگلو نیز متوسط دبی جریان در دوره پایه ۹/۷۴ متر مکعب در ثانیه و متوسط دبی در دوره تغییرات برابر ۲/۷۵ متر مکعب در ثانیه می‌باشد که این مقادیر کاهش قابل توجه دبی رودخانه را در هر دو ایستگاه هیدرومتری نشان می‌دهند که میزان کاهش دبی در ایستگاه دوست‌بیگلو بیشتر از ایستگاه سامیان است. همچنین، در این نمودارها، در ایستگاه سامیان بعد از سال ۱۳۸۳ و در ایستگاه دوست‌بیگلو نیز بعد از سال ۱۳۸۳ کاهش در مقادیر دبی دیده می‌شود که همانطور که گفته شد دلیل آن احداث و بهره‌برداری از سدهای سبلان و یامچی به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۳ است که منجر به کاهش دبی رودخانه شده است. دبی ایستگاه سامیان متأثر از ساخت سد یامچی و دبی ایستگاه دوست‌بیگلو متأثر از تأسیس هر دو سد سبلان و یامچی می‌باشد.

برای تعیین سهم اثرات اقلیمی و انسانی بر تغییرات رواناب از روش‌های الاستیسیته محور استفاده گردید که نتایج این روش‌ها در ایستگاه سامیان در جدول ۴ و در ایستگاه دوست بیگلو در جدول ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳- نتایج آزمون پتیت در تعیین نقطه تغییر رواناب در ایستگاه سامیان و دوست بیگلو
Figure 3- Results of Petit's test in determining the point of change of runoff in Samyan and Dost-Beiglo stations

جدول ۴- سهم اثرات اقلیمی و انسانی با استفاده از روش الاستیسیته محور در ایستگاه سامیان

Table 4- Contribution of climatic and human effects using the elasticity-based method in Samyan station

نام روش Method name	φ	ε_P	ε_{ET_p}	سهم تغییرات اقلیمی (٪) Contribution of climate change	سهم فعالیت‌های انسانی (٪) Contribution of human activities
روش ناپارامتری Nonparametric Method	–	1.640	-0.81	11.74	88.26
Schreiber اسچریبر	0.389	1.389	-0.389	8.02	91.98
Oldekop الدکپ	0.389	1.583	-0.583	9.97	90.03
Budyko بودیکو	0.389	1.383	-0.383	8.02	91.98
Pike پیک	0.389	1.348	-0.348	9.20	90.80
Zhang ژانگ	0.389	1.348	-0.348	7.63	92.37

جدول ۵- سهم اثرات اقلیمی و انسانی با استفاده از روش الاستیسیته محور در ایستگاه دوست بیگلو

Table 5- Contribution of climatic and human effects using the elasticity-based method in Dost-Beiglo station

نام روش Method name	φ	ε_P	ε_{ET_p}	سهم تغییرات اقلیمی (٪) Contribution of climate change	سهم فعالیت‌های انسانی (٪) Contribution of human activities
روش ناپارامتری Nonparametric Method	–	0.149	4.790	3.87	96.13
Schreiber اسچریبر	0.469	1.461	-0.461	2.29	97.71
Oldekop الدکپ	0.469	1.724	-0.724	2.58	97.42
Budyko بودیکو	0.469	1.580	-0.580	2.44	97.56
Pike پیک	0.469	1.598	-0.598	9.20	97.48
Zhang ژانگ	0.469	1.395	-0.395	2.29	97.71

با توجه به جدول ۴، در ایستگاه سامیان از روش ناپارامتری و روش‌هایی که بر اساس فرضیات بودیکو می‌باشند، برای محاسبه ضریب الاستیسیته استفاده گردید که نتایج این روش‌ها در این جدول نشان داده شده است. در روش ناپارامتری، سهم فعالیت‌های انسانی ۸۸/۲۶ درصد و سهم تغییرات اقلیمی ۱۱/۷۴ درصد برآورده شده است. سهم فعالیت‌های انسانی و سهم تغییرات اقلیمی برای روش‌های اسچریبر[1]، الدکپ[2]، بودیکو[3]، پیک[4] و ژانگ[5] به‌ترتیب ۹۱/۹۸ و۸/۰۲، ۹۰/۰۳ و ۹/۹۷، ۹۱/۹۸ و ۸/۰۲، ۹۰/۸۰ و ۹/۲۰، ۹۲/۳۷ و ۷/۶۲ برآورد شده است. به‌طور کلی، در روش الاستیسیته محور، سهم فعالیت‌های انسانی ۸۸/۲۶ تا ۹۲/۳۷ درصد و سهم تغییرات اقلیمی از ۷/۶۳ تا ۱۱/۷۴ درصد بسته به روش ناپارامتری و بودیکو محور برآورده شده است.

با توجه به جدول ۵، در ایستگاه دوست‌بیگلو در روش ناپارامتری، سهم فعالیت‌های انسانی ۹۶/۱۳ درصد و سهم تغییرات اقلیمی ۳/۸۷ درصد برآورده شده است. سهم فعالیت‌های انسانی و سهم تغییرات اقلیمی برای روش‌های اسچریبر، الدکپ، بودیکو، پیک و ژانگ به‌ترتیب ۹۷/۷۱ و ۲/۲۹، ۹۷/۴۲ و ۲/۵۸، ۹۷/۵۶ و ۲/۴۴، ۹۷/۴۸ و ۲/۵۲، ۹۷/۷۱ و ۲/۲۹ برآورد شده است. به‌طور کلی، در روش الاستیسیته محور سهم فعالیت‌های انسانی بین ۹۶/۱۳ تا ۹۷/۷۱ درصد و سهم تغییرات اقلیمی از ۲/۲۹ تا ۳/۸۷ درصد بسته به روش ناپارامتری و بودیکو محور برآورده شده است.

نتایج حاصل از روش‌های مختلف در هر دو ایستگاه نشان داد که سهم تغییرات اقلیمی کمتر از ۱۱ درصد و سهم فعالیت‌های انسانی بیشتر از ۸۸ درصد در کاهش جریانات رودخانه قره‌سو می‌باشد که این نتایج با نتایج محققان قبلی همخوانی دارد. تحقیقات گائو و همکاران (Gao *et al*., 2016) نشان داد که بیشتر از ۶۰ درصد از کاهش رواناب در حوضه‌های مختلف لوس پلاتو[6] به علت فعالیت‌های انسانی می‌باشد. نتایج مطالعات عباسی و ملکانی (Abbasi and Malekani, 2021) نیز بر روی حوضه سجاسرود واقع در استان زنجان نشان داد که سهم عوامل اقلیمی ۳۳ درصد و سهم فعالیت‌های انسانی ۶۷ درصد می‌باشد. مطالعات کنعانی و همکاران (Kanani *et al*., 2021) در حوضه رودخانه لیقوان که از زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه می‌باشد، نشان داد که عوامل انسانی موجب کاهش ۶۵ تا ۸۴ درصد میزان رواناب می‌باشد.

همچنین، با مقایسه نتایج دو ایستگاه سامیان و دوست‌بیگلو، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تأثیر تغییرات اقلیمی بر روی دبی رودخانه

1- Scheriber
2- Oldekop
3- Budyko
4- Pike
5- Zhang
6- Loess Plateau

قره‌سو در ایستگاه سامیان (۹/۰۹٪) بیشتر از ایستگاه دوست‌بیگلو (۲/۶۶٪) می‌باشد و برعکس تأثیر فعالیت‌های انسانی بر روی دبی رودخانه در ایستگاه دوست‌بیگلو (۹۷/۳۳٪) بیشتر از ایستگاه سامیان (۹۰/۹۰٪) می‌باشد که علت آن می‌تواند تأثیر همزمان احداث دو سد یامچی و سبلان بر دبی ایستگاه دوست‌بیگلو باشد.

شایان ذکر است که در این تحقیق همانطور که گفته شد بدلیل عدم کافی بودن داده‌های بارش و تبخیر در نواحی بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری، از داده‌های بارش و تبخیر ایستگاه‌های هیدرومتری استفاده گردیده است. بدیهی است در صورت کافی بودن آمار بالادست و اعمال نمودن اثرات بارش و تبخیر نقاط بالادست حوضه در دبی‌های خروجی از ایستگاه‌های هیدرومتری، نتایج قابل اعتمادتری حاصل می‌شد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، برای تعیین میزان اثرات تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر روی مقادیر دبی رودخانه قره‌سو واقع در استان اردبیل از روش‌های الاستیسیته محور استفاده گردید. بدین منظور، از داده‌های هیدرومتئورولوژیکی مختلف مانند بارش، تبخیر و دبی ماهانه مرتبط با ایستگاه سامیان و ایستگاه دوست بیگلو با دوره آماری ۱۳۹۸-۱۳۶۱ بهره گرفته شد. ابتدا با استفاده از آزمون پتیت مشخص گردید که از سال ۱۳۷۶میزان جریان رودخانه دچار تغییرات معنی‌داری شده است. لذا کل دوره آماری به دو دوره پایه و تغییرات تقسیم‌بندی شد و سپس با استفاده از روش‌های یادشده سهم فعالیت‌های انسانی و سهم تغییرات اقلیمی مشخص گردید. دو عامل اقلیمی یعنی کاهش بارندگی و افزایش تبخیر به‌عنوان عوامل موثر در تغییرات اقلیمی و انجام فعالیت‌هایی مانند احداث سد یامچی و سد سبلان و نیز توسعه و گسترش باغات و اراضی کشاورزی به‌عنوان فعالیت‌های انسانی در کاهش جریان رودخانه قره‌سو می‌توانند موثر باشند. با این‌حال، فعالیت-های انسانی تاثیر بیشتری (بالای ۸۸ درصد) نسبت به عامل تغییر اقلیم (کمتر از ۱۱ درصد) در کاهش جریان این رودخانه داشته است. با توجه به زیاد بودن درصد فعالیت‌های انسانی می‌توان گفت که با ادامه همین روند تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، بنظر می‌رسد جریان رودخانه در سال‌های آینده دچار تغییرات و کاهش بیشتری خواهد شد. به منظور جلوگیری از کاهش بیشتر رواناب این رودخانه می‌بایست از افزایش فعالیت‌های انسانی انجام یافته در سطح استان نظیر سدسازی، گسترش اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی و تخریب جنگل‌ها و مراتع جلوگیری کرده و آن را مدیریت نمود.

در نهایت، پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی از سایر روش‌های ارزیابی سهم اثرات اقلیمی و انسانی بر دبی رودخانه قره‌سو و سایر رودخانه‌های جاری در سطح کشور استفاده شود و کارآیی آنها بررسی شود. همچنین، پیشنهاد می‌گردد از یک مدل هیدرولوژیکی برای روندیابی جریان بین دو ایستگاه هیدرومتری حوضه قره‌سو و تعیین اثر تغییرات بارش و تبخیر و تعرق حوضه‌های بالادست هر ایستگاه استفاده گردد.

منابع

1- Abbasi, H., & Malekani, L. (2021). Runoff Modeling and Estimation of Runoff Changes Due to Climatic and Human Factors. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *13*(2), 475-485. (In Persian with English abstract). dor:20.1001.1.20087942.1398.13.2.18.6

2- Budyko, M.I. (1948). *Evaporation under Natural Conditions*. Translated from Russian by Israel Program.

3- Gao, G., Fu, B., Wang, S., Liang, W., & Jiang, X. (2016). Determining the hydrological responses to climate variability and land use/cover change in the Loess Plateau with the Budyko framework. *Science of the Total Environment*, 557-558, 331-342. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.019

4- Fu, G., Charles, S.P., & Chiew, F.H.S. (2007). A two-parameter climate elasticity of runoff index to assess climate change effects on annual runoff. *Water Resources Research*, *43*(11), 11-19. https://doi.org/10.1029/2007WR005890

5-Hood, M. (2011). Increased flooding driven by climate change. *African Network of Environmental Journalists (ANEJ).*

6-Huntington, T.G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *Journal of Hydrology*, *319*(1-4), 83-95. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.003

7-Kakaei, E., Moradi, H.R., Moghaddam Nia, A.R., & Van Lanen, H.A.J. (2019). Quantifying positive and negative human-modified droughts in the Anthropocene:Illustration with twoIranian catchments. *Water*, *11*(5), 884. https://doi.org/10.3390/w11050884

8-Kanani, R., Fakheri, A., Ghorbani, A., & Dinpashoh,Y. (2021). Trend analysis of the stremflow in the Lighvan river hydrometric station (Upstream and Downstream). *Journal of Watershed Management Research*, *11*(22), 11-19. (In Persian). https://doi.org/10.52547/jwmr.11.22.11

9- Kakehmami, A., Ghorbani, A., Moameri, M., & Ghafari, S. (2021). Evaluation of land use changes in Ardabil province using satellite image processing. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, *28*(3), 537-550. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.125011

10- Ma, Z., Kang, S., Zhang, L., Tong, L., & Su, X. (2008). Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China. *Journal of Hydrology*, *352*(3-4), 239-249.

https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.12.022

11- Milly, P.C.D., Dunne, K.A., & Vecchia, A.V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, *438*(7066), 347-350. https://doi.org/ 10.1038/nature04312

12- Mwangi, H.M., Julich, S., Patil, S.D., McDonald, M.A., & Feger, K.H. (2016). Relative contribution of land use change and climate variability on discharge of upper Mara River, Kenya. *Journal of Hydrology*: *Regional Studies, 5*, 244-260. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.12.059

13- Ol'dekop, E.M. (1911). *On Evaporation from the Surface of River Basins: Transactions on Meteorological Observations.* Lur-evskogo, report, University of Tartu, Estonia. (In Russian)

14- Pettitt, A.N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society*, *28*(2), 126-135. https://doi.org/10.2307/2346729

15- Pike, J.G. (1964). The estimation of annual runoff from meteorological data in a tropical climate. *Journal of Hydrology*, *2*(2), 116-123. https://doi.org/10.1016/0022-1694(64)90022-8

16- Rangecroft, S., Van Loon, A.F., Maureira, H., Verbits, K., & Hannah, D.M. (2016). Multi-method assessment of reservoir effects on hydrological droughts in an arid region. *Earth System Dynamics*, *57*, 1-32. https://doi.org/10.5194/esd-2016-57

17- Schreiber, P. (1904). Uber die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserfu hrung der Flu ße in Mitteleuropa. *Meteorologische Zeitschrift, 21*(10), 441-452.

18- Schaake, J.C. (1990). *From climate to flow*. P. 177–206. In: Waggoner, P.E., Wiley, J. (eds), Climate Change and U.S. Water Resources, New York.

19- Sorokin, L.V., & Mondello, G. (2017). *Entering the new +2 °C Global Warming age and a threat of World Ocean expansion for sustainable economic development*. In: Mal, S. et al. (eds.), Climate Change Extreme Events and Disaster Risk Reduction, Springer, Berlin, Germany.

20- Wu, J., Miao, C., Zhang, X., Yang, T., & Duan, Q. (2017). Detecting the quantitative hydrological response to changes in climate and human activities. *Science of the Total Environment*, *586*, 328-337. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.010

21- Yao, H., Shi, C., Shao, W., Bai, J., & Yang, H. (2015). Impacts of climate change and human activities on runoff and sediment load of the Xiliugao Basin in the upper Yellow river. *Advances in Meteorology*, 481713. https://doi.org/10.1155/2015/481713

22- Zahraie, B., Kolbasi, A., & Salehabadi, H. (2017). *Estimating the contribution of the effects of climate change and human activities in the reduction of runoff entering the Zaindarud dam*. In International Climate Change Conference, Ministry of Power, Tehran. (In Persian)

23- Zhao, G., Tian, P., Mu, X., Jiao, J., Wang, F., & Gao, P. (2014). Quantifying the impact of climate variability and human activities on streamflow in the middle reaches of the Yellow River basin, China. *Journal of Hydrology*, *519*, 387–398. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.07.014

24- Zhang, L., Dawes, W.R., & Walker, G.R. (2001). Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*, *37*(3), 701-708. https://doi.org/10.1029/2000WR900325